ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ
PROCESSES AND MACHINES OF AGRO - ENGINEERING SYSTEMS



УДК 631.22 10.23947/1992-5980-2017-17-2-136-140

Определение закона распределения плотности вероятностей числаколониеобразующих единиц в технологическом процессе обеззараживания стоков животноводческих ферм*

Н. В. Лимаренко[1], В. П. Жаров[2]**

[1] Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Determination of the law of probability density distribution of colony-forming units number under livestock waste disinfection***

N. V. Limarenko[1], V. P. Zharov[2]**

[1] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. Рассмотрен перспективный способ обеззараживания стоков животноводческих ферм. Суть способа заключается в комплексном физико-химическом воздействии переменного электромагнитного поля в сочетании с химическим реагентом. Устройством реализации предложенного способа является индуктор. В качестве наиболее существенного параметра, характеризующего качество технологического процесса обеззараживания стоков животноводческих ферм, выбрано остаточное число колониеобразующих единиц общих колиформных бактерий. Для повышения эффективности исследования технологического процесса обеззараживания стоков животноводческих ферм предлагается использовать математическую теорию планирования эксперимента, применение которой подразумевает нормальный закон распределения частоты значений колониеобразующих единиц общих колиформных бактерий.

Материалы и методы. В ходе проведения данного исследования использовались следующие методы: инструментального прямого и косвенного измерения; микрокопирования; наименьших квадрантов, теоретического определения распределения случайной величины и статистической обработки данных.

Результаты исследования. Проверка гипотезы о нормальном законе распределения производилась постановкой эксперимента на стенде с определёнными условиями. В результате проведенных экспериментов была получена выборка значений, состоящая из 100 наблюдений. На основании анализа априорной информации была принята гипотеза о нормальном законе распределения частоты значений колониеобразующих единиц общих колиформных бактерий.

Обсуждения и заключения. При исследовании закона распределения частоты значений колониеобразующих единиц общих колиформных бактерий, характеризующих качество процесса обеззараживания, было произведено сравнение принятого критического значения критерия Пирсона с расчётным. Поскольку расчётное значение меньше принятого критического, то гипотеза о нормальном законе распределения принимается.

Introduction. An advanced technique of the livestock waste disinfection is considered. The essence of the method is in the integral physicochemical action of the alternating magnetic field combined with a chemical agent. The inductor can implement this method. A residual number of the colony-forming units of total coliforms is selected as the most critical parameter characterizing the quality of the disinfection process of livestock effluents. It is proposed to use the mathematical experimental design theory to improve the efficiency of investigating the disinfection process of livestock waste. Its application implies a normal law of distribution of the value frequency of colony-forming units of total coliforms.

Materials and Methods. In the course of this study, the following methods were used: direct and indirect instrumental measurement; micrographics; least quadrants, theoretical definition of the random distribution, and statistical data processing.

Research Results. The hypothesis on a normal distribution law was tested by setting up an experiment at the stand with certain conditions. As a result of the conducted experiments, a sample of values consisting of 100 observations is obtained. Based on the aprior information analysis, a hypothesis on the normal distribution law of the value frequency of colony-forming units of total coliforms was adopted.

Discussion and Conclusions. In the course of studying the distribution law of the value frequency of colony-forming units of total coliforms characterizing the quality of the disinfection process, the accepted critical value of the Pearson test was compared to the calculated one. Since the design value is less than the adopted critical one, the hypothesis on a normal distribution law is accepted.

*Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

**E -mail: limarenkodstu@yandex.ru

*** The research is done within the frame of the independent R&D.

Ключевые слова: обеззараживание; стоки животноводческих ферм; индуктор; остаточное число колониеобразующих единиц общих колиформных бактерий, закон распределения плотности вероятностей.

Keywords: disinfection, livestock waste, inductor, residual number of colony-forming units of total coliforms, elementary probability law.

Введение. Стоки сельского хозяйства являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды патогенными и условно-патогенными микроорганизмами. Наибольшую опасность представляют стоки животноводческих ферм. Анализ источников [1–3] показал, что наиболее перспективным способом обеззараживания является комплексное физико-химическое воздействие переменным электромагнитным полем в сочетании с химическим реагентом.

Процесс обеззараживания стоков животноводческих ферм — сложное явление, зависящее от множества одновременно действующих факторов.

Повысить эффективность исследования можно используя математическую теорию планирования эксперимента, получившую широкое распространение в ряде областей науки благодаря работам [3–8].

Однако в исследованиях процесса обеззараживания стоков животноводческих ферм она используется еще недостаточно широко, что существенно снижает их эффективность.

Применение математической теории планирования эксперимента предусматривает нормальный закон распределения параметра, характеризующего качество процесса обеззараживания.

Одним из наиболее существенных параметров, характеризующих качество технологического процесса обеззараживания стоков животноводческих ферм, является остаточное число колониеобразующих единиц общих колиформных бактерий (КОЕ ОКБ).

Поэтому определение закона распределения плотности вероятностей (далее частоты) КОЕ ОКБ в стоках животноводческих ферм после их обеззараживания является актуальной задачей. Это и являлось целью данного исследования.

Экспериментальное исследование. Решение этого вопроса производилось постановкой эксперимента на стенде, описанном в [3], в следующих условиях:

– заполненность рабочими телами рабочей зоны индуктора, $\rho = 2{,}96$ %;

– диаметр рабочих тел $d = 1{,}5$ мм;

– длина рабочих тел $l = 20$ мм;

– магнитная индукция $B = 60$ мТл;

– концентрация реагента $\omega = 0{,}4$ % от нормы;

– продолжительность совместного воздействия электромагнитного поля, химического реагента и рабочих тел t = 4 с.

В результате проведенных экспериментов была получена выборка значений КОЕ ОКБ $p_{КОЕ\ ОКБ\ 1}$, $p_{КОЕ\ ОКБ\ 2}$, …, $p_{КОЕ\ ОКБ\ N}$, состоящая из 100 наблюдений.

Полученные в результате эксперимента данные после первичной обработки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

Статистические характеристики КОЕ ОКБ

Statistical characteristics of CFU TC (Colony-Forming Units of Total Coliforms)

Номер интервала	Интервал	Середина интервала p_{cui}^{cu}	Частота	
			эмпирическая m_i	теоретическая m_i'
1	68…69	68,571	6	4
2	69…70	69,714	15	11
3	70…71	70,857	17	20
4	71…73	72,000	22	25
5	73…74	73,143	18	21
6	74…75	74,286	14	12
7	75…76	75,429	8	5
Сумма			100	98

На основании анализа априорной информации была принята гипотеза о нормальном законе распределения частоты значений КОЕ ОКБ, которая выражается зависимостью:

$$f(p)=\frac{1}{S_p\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(p_i-\mu_p)^2}{2S_p^2}} \qquad (1)$$

где S_p — среднеквадратичное отклонение случайной величины p;

μ_p — оценка математического ожидания случайной величины p.

Определение параметров эмпирического распределения (табл. 1) и выравнивание кривых производилось согласно [9, 10].

Графики эмпирической и теоретической частоты распределений значений остаточного числа КОЕ ОКБ, представлены на рис. 1.

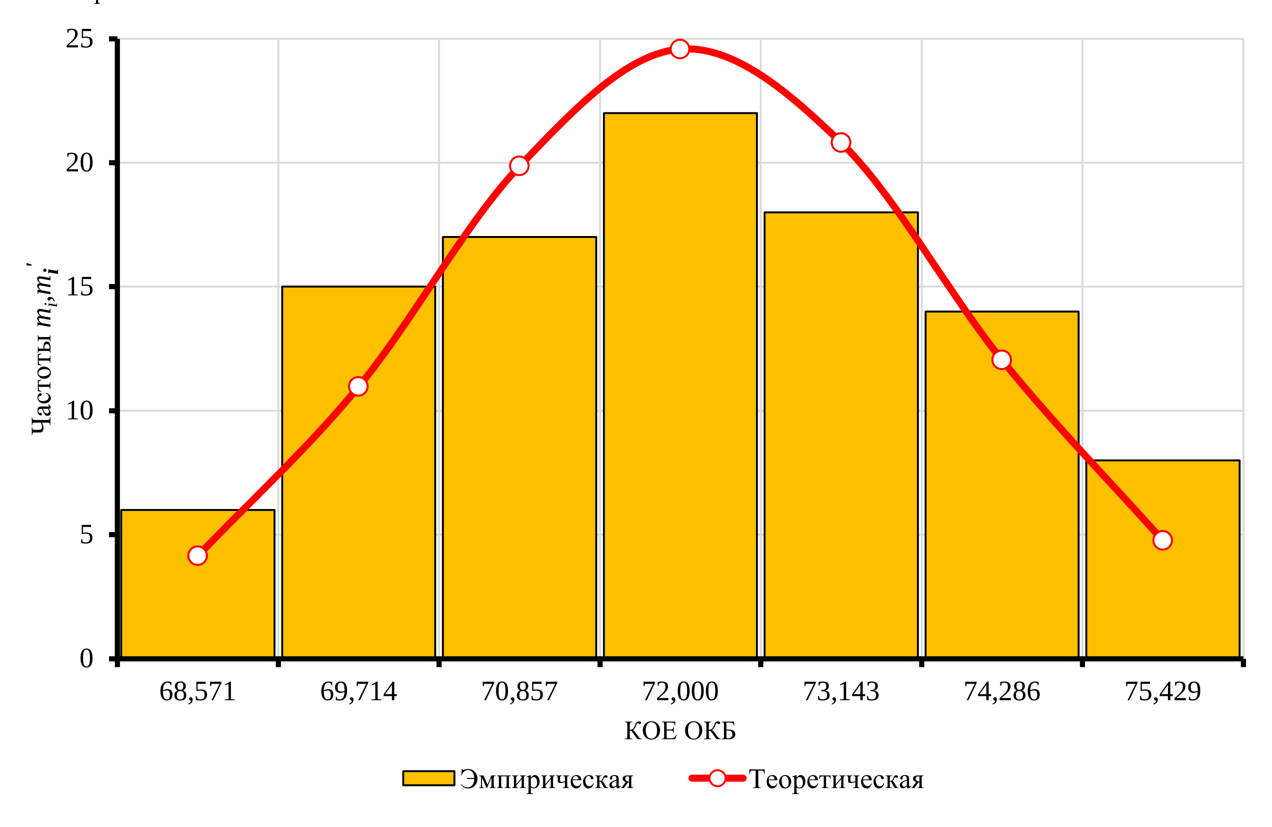


Рис. 1. Графики эмпирического и теоретического распределения частоты значений КОЕ ОКБ процесса обеззараживания

Fig. 1 Graphs of empirical and theoretical distribution of value frequency for CFU TC of disinfection process

Для проверки согласованности частот распределения, полученных по данным выборки, с теоретической использовался критерий согласия Пирсона $\chi_П^2$, являющийся наиболее состоятельным при большом числе наблюдений [10]. Его состоятельность заключается в том, что он почти всегда определяет неверную гипотезу и обеспечивает минимальную ошибку в принятии неверной гипотезы по сравнению с другими критериями.

$$\chi_p^2 \le \chi_{кр}^2 \qquad (2)$$

Область принятия гипотезы определялась неравенством

где χ_p^2 — расчётное значение критерия Пирсона;

$\chi_{кр}^2$ — критическое значение критерия Пирсона.

Расчётное значение критерия Пирсона определялось по формуле

$$\chi_p^2=\sum_{i=1}^{k}\frac{(m_i-m_i')^2}{m_i'} \qquad (3)$$

для КОЕ ОКБ $\chi_{p\,КОЕ\,ОКБ}^2=4{,}47$.

Число степеней свободы для критического значения критерия Пирсона

$$f_П=k_u-r-1 \qquad (4)$$

где $k_и$ — количество интервалов, на которые делится выборка;

$r_{кп}$ — количество параметров теоретической функции распределения. Так как нормальный закон распределения двухпараметрический, то $r_{кп}$ = 2.

При исследовании закона распределения частоты значений КОЕ ОКБ, характеризующих качество процесса обеззараживания, было принято следующее критическое значение критерия Пирсона $\chi^2_{кр}$ = 15,51.

Так как расчётное значение критерия Пирсона меньше критического значения, при уровне значимости α=0,05, то гипотеза о нормальном законе распределения частоты значений КОЕ ОКБ, характеризующего качество процесса обеззараживания, принимается.

Заключение. Убедившись в нормальном законе распределения частоты значений КОЕ ОКБ, характеризующего качество процесса обеззараживания, можно переходить к дальнейшим исследованиям методами математической теории планирования эксперимента.

Библиографический список

1. Лимаренко, Н. В. Анализ процесса обеззараживания стоков сельского хозяйства электромагнитным полем [Электронный ресурс] / Н. В. Лимаренко, В. П. Жаров, Б. Г. Шаповал // Молодой исследователь Дона. — 2016. — № 1. — Режим доступа: http://mid-journal.ru/upload/iblock/444/444610884667126 efef1ed54ff367356.pdf_ (дата обращения: 08.09.2016).

2. Лимаренко, Н. В. Анализ способов обеззараживания / Н. В. Лимаренко // Сб. тр. 8-й межд.-й науч. практ. конф. «Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения» — Ростов-на-Дону, 2015. — С. 605–608.

3. Лимаренко, Н. В. Исследование параметров магнитного поля в рабочей камере индуктора / Н. В. Лимаренко [и др.] // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2016. — № 1. — С. 136–142.

4. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Наука, 1976. — 280 с.

5. Минько, А. А. Статистический анализ в MS Excel / А. А. Минько — Москва : Вильямс, 2004. — 448 с.

6. Блинова, Е. И. Планирование и организация эксперимента / Е. И. Блинова. — Минск : БГТУ, 2010. — 130 с.

7. Порсев, Е. Г. Организация и планирование экспериментов / Е. Г. Порсев. — Новосибирск : НГТУ, 2010. — 155 с.

8. Karl Siebertz. Statistische Versuchsplanung. Design of Experiments (DoE) / Karl Siebertz, David van Bebber, Thomas Hochkirchen. — London. New York: Springer Heidelberg Dordrecht, 2010. — 326 p.

9. Спирин, Н. А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента / Н. А. Спирин, В. В. Лавров. — Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. — 257 с.

10. Вентцель, Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров — 5-е изд., стер. — Москва : КНОРУС, 2013. — 448 с.

References

1. Limarenko, N.V., Zharov, V.P., Shapoval, B.G. Analiz protsessa obezzarazhivaniya stokov sel'skogo khozyaystva elektromagnitnym polem. [Process analysis of agricultural wastewater treatment with electromagnetic field.] Young Researcher of the Don, 2016, no. 1. Available at: http://mid-journal.ru/upload/iblock/444/444610884667126 efef1ed54ff367356.pdf (Accessed: 08.09.2016) (in Russian).

2. Limarenko, N.V. Analiz sposobov obezzarazhivaniya. [Analysis of disinfection methods.] Sb. tr. 8-y mezhd.-y nauch. prakt. konf. «Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya». [Proc. 8-th Int. Sci.-Pract. Conf. “State and prospects of the development of agricultural machinery”.] Rostov-on-Don, 2015, pp. 605–608(in Russian).

3. Limarenko, N.V., et al. Issledovanie parametrov magnitnogo polya v rabochey kamere induktora. [Study on magnetic field parameters in the inductor working chamber.] Vestnik of DSTU, 2016, no. 1, pp. 136–142 (in Russian).

4. Adler, Y.P., Markova, E.V., Granovskiy, Y.V. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy. [Planning an experiment when searching for optimal conditions.] 2nd revised and enlarged ed. Moscow: Nauka, 1976, 280 p. (in Russian).

5. Minko, A.A. Statisticheskiy analiz v MS Excel. [Statistical analysis in MS Excel.] Moscow: Williams, 2004, 448 p. (in Russian).

6. Blinova, E.I. Planirovanie i organizatsiya eksperimenta. [Planning and organizing an experiment.] Minsk: BGTU, 2010, 130 p. (in Russian).

7. Porsev, E.G. Organizatsiya i planirovanie eksperimentov. [Organizing and planning experiments.] Novosibirsk: NGTU, 2010, 155 p. (in Russian).

8. Siebertz, Karl, van Bebber, David, Hochkirchen, Thomas. Statistische Versuchsplanung. Design of Experiments (DoE). London. New York: Springer Heidelberg Dordrecht, 2010, 326 p.

9. Spirin, N.A., Lavrov, V.V. Metody planirovaniya i obrabotki rezul'tatov inzhenernogo eksperimenta. [Methods for planning and processing the results of an engineering experiment.] Ekaterinburg: GOU VPO UGTU-UPI, 2004, 257 p. (in Russian).

10. Ventsel, E.S., Ovcharov, L.A. Teoriya sluchaynykh protsessov i ee inzhenernye prilozheniya. [Theory of stochastic processes and its engineering applications.] 5th reimpression. Moscow: KNORUS, 2013, 448 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 07.02.2017
Сдана в редакцию 07.02.2017
Запланирована в номер 05.04.2017

Received 07.02.2017
Submitted 07.02.2017
Scheduled in the issue 05.04.2017

Об авторах:

Лимаренко Николай Владимирович,
аспирант Донского государственного технического университета (РФ, 344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),
ORCID:http://orcid.org/0000-0003-3075-2572
nikolajj-limarenko@rambler.ru

Жаров Виктор Павлович,
профессор кафедры «Теоретическая и прикладная механика» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5645-447X

Authors:

Limarenko, Nikolay V.,
postgraduate student, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1),
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-3075-2572
nikolajj-limarenko@rambler.ru

Zharov, Victor P.,
professor of the Theoretical and Applied Mechanics Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), Dr. Sci. (Eng.), professor,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5645-447X